

ESTUDIO DE LA ABSORCIÓN Y TRANSLOCACIÓN DE CA Y N EN LOS CÍTRICOS.

IV. EFECTO DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES SOBRE LA ABSORCIÓN DE CALCIO

Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias.
Carretera Moncada-Náquera km 4.5,
46113 Moncada (Valencia).
quinones_ana@ivia.gva.es

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos números de la revista (num. 414, 416 y 418) se han detallado los diferentes ensayos destinados al estudio de la absorción y translocación del Calcio (Ca) en plantas jóvenes de cítricos. Además de la concentración de Ca en el medio de cultivo y su antagonismo con otros macronutrientes como el Magnesio (Mg), la absorción de este macroelemento esencial se ve influida, en gran medida, por el influjo de agua proporcionado por la transpiración. Por este motivo, el objetivo de este último artículo fue analizar el efecto de diferentes condiciones climáticas (Verano e Invierno) sobre la absorción y translocación del N y Ca en plantas de cítricos cultivadas durante 1 mes en condiciones controladas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Material vegetal y condiciones de cultivo

Al igual que en el resto de ensayos, las plantas del patrón *Citrus carrijo* [Citrus sinensis (L) Osb. x Poncirus trifoliata (L) Raf] procedían de un vivero comercial de cítricos y fueron adquiridas con una altura que oscilaba de 15 a 20 cm. Cada planta se transplantó a un contenedor de 0.5 L de capacidad con arena silíceas y se mantuvieron en el invernadero en condiciones climáticas medias de Temperatura (T⁸) y Humedad (HR)

propias del cultivo de los cítricos de nuestra zona. Las plantas se fertirrigaron, en el periodo previo al inicio de los tratamientos, con la solución de Hoagland & Arnon (1950) adaptada a los cítricos (solución nutritiva estándar). Las concentraciones de macronutrientes en mM de esta solución nutritiva estándar fueron: 9.8 N (13% nitrato potásico y 87% nitrato cálcico como calcinit), 0.6 P (ácido fosfórico), 1.4 K (nitrato potásico), 4 Ca (nitrato cálcico, calcinit), 2 Mg (sulfato de magnesio) y la concentración de los micronutrientes en µM: 40 Fe (quelato), 11.5 Zn (33% quelato y 77% sulfato), 9 Mn (quelato), 0.5 Cu (sulfato), 46 B (ácido bórico) y 0.5 Mo (ácido molibdicó). Este periodo de aclimatación duró alrededor de 3 meses y medio.

Para evaluar el efecto de diferentes condiciones climáticas sobre la absorción y translocación del Nitrógeno (N) y del Ca se reprodujeron dos condiciones extremas de temperatura (media del día y de la noche), humedad relativa (día y noche) y velocidad del viento (media durante el día), las de los tres meses más cálidos (junio, julio y agosto) y más fríos del año (diciembre, enero y febrero), ensayos CI y CII, respectivamente.

2.1.1. Condiciones de cultivo del ensayo CI

Se seleccionaron seis plantas uniformes, se midió la altura de cada una (Tabla 1) y se colocaron en la cámara de cultivo con las condiciones climáticas de los meses más cálidos descritas en las Figuras 1a, 1b y 1c, obtenidas de los datos de la estación agroclimática del IVIA relativos a los últimos cinco años.

Tabla 1. Altura de las plantas desde la superficie de sustrato hasta el ápice (ensayo CI).

Nº	1 ^z	2 ^z	3 ^z	4 ^y	5 ^y	6 ^y
cm	62.0	63.0	57.0	63.0	63.0	57.0

^z: Plantas 1, 2 y 3 sin ventilación ni calefacción.

^y: Plantas 4, 5 y 6 con ventilación y calefacción artificial.

En la misma cámara de cultivo, tres plantas se mantuvieron con la circulación de aire propia de la cámara (sin ventilador) y en las otras tres, separadas por una cortina de plástico transparente, se simuló la velocidad media del viento durante el día.

Para reproducir la velocidad del viento se instalaron 2 ventiladores y la velocidad del viento se registró en un anemómetro. Dado que con los ventiladores disminuyen la temperatura, se puso en funcionamiento un calefactor durante el tiempo de marcha de éstos, para mantener la temperatura del aire cálido que se quería reproducir (Fotografía 1).

Las plantas de este ensayo, también, se fertirrigaron con la solución nutritiva estándar donde el N, Ca y Mg se aplicaron con las concentraciones habituales de 9.8, 4 y 2 mM, respectivamente. Tanto el N y Ca se aportaron marcados con ¹⁵N y ⁴⁴Ca con un enriquecimiento del 33.9 y 19.0%, respectivamente.

Del mismo modo que en los ensayos anteriores, el día anterior al inicio de ensayo, la arena de cada planta se lavó con 100 mL agua destilada para eliminar de la solución nutritiva retenida. Los tratamientos se iniciaron el 25 de octubre de 2011 y, un mes después, se extrajeron de la arena las plantas y se dividieron en las fracciones siguientes: brotación joven (desarrollada durante los 30 días del ensayo), hojas viejas, tallo (tronco), raíces gruesas y finas (fibrosas). Estas fracciones se lavaron con detergente no iónico y agua destilada para eliminar las partículas adheridas, sobre todo la arena y se cuantificó el peso fresco. Posteriormente, se liofilizaron, se registró el peso seco, se molieron y finalmente, se guardaron en recipientes para su posterior analítica.

En la Tabla 2 se exponen las fechas y los volúmenes aplicados de solución nutritiva marcada y agua destilada.

2.1.2. Condiciones de cultivo del ensayo CII

Para este ensayo también se seleccionaron seis plantas uniformes, se midió la altura de cada una (Tabla 3) y se colocaron en la cámara de cultivo con las condiciones climáticas de los meses más fríos descritas en las Figuras 2a, 2b y 2c, obtenidas de los datos de la estación agroclimática del IVIA relativos a los últimos cinco años.

Igualmente al ensayo anterior, para reproducir la velocidad del viento se instalaron 2 ventiladores. La velocidad del viento se registró en un anemómetro. En estas condiciones, no se les aplicó calor artificial mediante un calefactor.

Al igual que en el ensayo anterior, las plantas se fertilizaron con la solución nutritiva estándar con las mismas concentraciones y enriquecimientos en ^{15}N y ^{44}Ca que los establecidos para el ensayo de verano (CI).

Igualmente, el día anterior al inicio de ensayo, cada planta se regó con agua destilada para eliminar de la arena la solución nutritiva retenida. Los dos tratamientos diferenciales en cuanto a condiciones climáticas se iniciaron el 29 de noviembre de 2011, y un mes después, se extrajeron de la arena las plantas y se separaron las siguientes fracciones: brotación joven (desarrollada durante los 30 días del ensayo), hojas viejas, tallo (tronco), raíces gruesas y finas (fibrosas), procediéndose de la forma descrita en el ensayo A. El manejo de las muestras se realizó del igual modo descrito en el ensayo A.

En la Tabla 4 se exponen las fechas y los volúmenes aplicados de solución nutritiva marcada y de agua destilada.

2.2 Analíticas realizadas

Para la determinación de la concentración de Ca y de los restantes macronutrientes (a excepción del N), se sometieron las muestras vegetales a una digestión nítrico-perclórica para la liberación de los elementos minerales (P, K, Mg, Ca, Na y S). Posteriormente, se realizó una dilución de 0.5 mL de la digestión en 10 mL de agua milli-Q. Las concentraciones de Ca total y de los demás macronutrientes se midieron con un espectrómetro de emisión atómica

Tabla 2. Consumo (mL) de solución nutritiva marcada (SNM) y de agua destilada (H_2O) por planta.

Planta	25/10 SNM	31/10 H_2O	7/11 H_2O	9/11 H_2O	14/11 SNM	16/11 H_2O	21/11 H_2O	23/11 H_2O	Total SNM	Total H_2O	Total SNM+ H_2O
1	125	125	75	125	125	75	75	75	250	550	800
2	125	125	75	125	125	75	75	75	250	550	800
3	125	125	75	125	125	75	0	75	250	475	725
4	125	125	75	125	125	125	0	125	250	575	825
5	125	125	75	125	125	125	125	125	250	700	950
6	125	125	75	125	125	125	125	125	250	700	950

Tabla 3. Altura de las plantas desde la superficie de sustrato hasta el ápice (ensayo CII).

Nº	1 ^Z	2	3	4 ^Y	5	6
cm	62.0	56.0	60.0	60.0	56.0	61.0

Z: Plantas 1, 2 y 3 sin ventilación ni calefacción.

Y: Plantas 4, 5 y 6 con ventilación y calefacción artificial.

con fuente de plasma de acoplamiento inductivo, ICP ICAP-6000, de la empresa Thermo Scientific (Cambridge, UK).

La concentración de ^{44}Ca se determinó en un espectrómetro de masas con colector múltiple y fuente de plasma de acoplamiento inductivo (MC-ICP MS, Thermo Finnigan Neptune). A los resultados del ^{44}Ca de las diferentes partes de la planta se les restó la abundancia natural de este isótopo (2.086 átomos % de ^{44}Ca) y se refirieron, así, al exceso o enriquecimiento de este isótopo.

La determinación del N total en las muestras de material vegetal seco se realizó mediante un Analizador Elemental (NC 2500, Thermo Finnigan, Bremen, Alemania) y su composición isotópica en $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$ con un Espectrómetro de Masas de Relaciones Isotópicas (Delta Plus, Thermo Finnigan), acoplado (interfaz ConFloII, Finnigan) al Analizador Elemental. A los resultados del ^{15}N de las muestras de las diferentes partes de la planta se les restó la abundancia natural de este isótopo (0.366 átomos % de ^{15}N) y se obtuvieron los valores referidos al exceso o enriquecimiento de este isótopo.

2.3 Cálculos realizados

Los resultados presentados en las siguientes tablas se han obtenido mediante las diferentes formulas detalladas con determinimiento en el artículo del número del Levante Agrícola 414 (pags. 9-14).

Tabla 4. Consumo (mL) de solución nutritiva marcada (SNM) y de agua destilada (H_2O) por planta.

Plantas	29/11 SN	5/12 H_2O	14/12 SN	14/11 H_2O	Total SN	Total H_2O	Total SNM+ H_2O
1	125	50	125	50	250	100	350
2	125	50	125	50	250	100	350
3	125	50	125	50	250	100	350
4	125	50	125	50	250	100	350
5	125	50	125	50	250	100	350
6	125	125	125	50	250	100	350

2.4 Análisis estadístico

En ambos ensayos se analizó el efecto de las diferentes condiciones ambientales sobre la absorción de macronutrientes, principalmente Ca en plantas jóvenes de cítricos a través del análisis de varianza (ANOVA) y la comparación entre medias, mediante el test LSD-Fisher al 95% de nivel de confianza. Ambos se realizaron con el programa estadístico Statgraphics Plus versión 5.1 (Statistical Graphics, Englewood Cliffs, NJ).

3. RESULTADOS

3.1 Biomasa de las plantas

La determinación de la biomasa constituye un parámetro fundamental para cuantificar, posteriormente, el N y Ca absorbidos de los fertilizantes aplicados con la solución nutritiva, sus eficiencias de uso, el N y Ca derivados de la aplicación de estos fertilizantes y los contenidos totales del resto de macroelementos (P, K, Mg, Na y S). En la Tabla 5 se expone la biomasa de la planta completa, así como, el peso seco de cada uno de los órganos en los que éstas se fraccionaron. De los factores evaluados, ni la ventilación ni la estación de ensayo (Verano e invierno) afectaron significativamente a la biomasa de los diferentes órganos. Tampoco fue significativa la interacción entre estos dos parámetros.

La ausencia de significación estadística en la biomasa pudo ser debida a la corta duración del ensayo, aunque las plantas se trataron en diferentes condiciones climáticas, ventilación y calefacción que afectaron a la temperatura y humedad relativa de la cámara de cultivo.

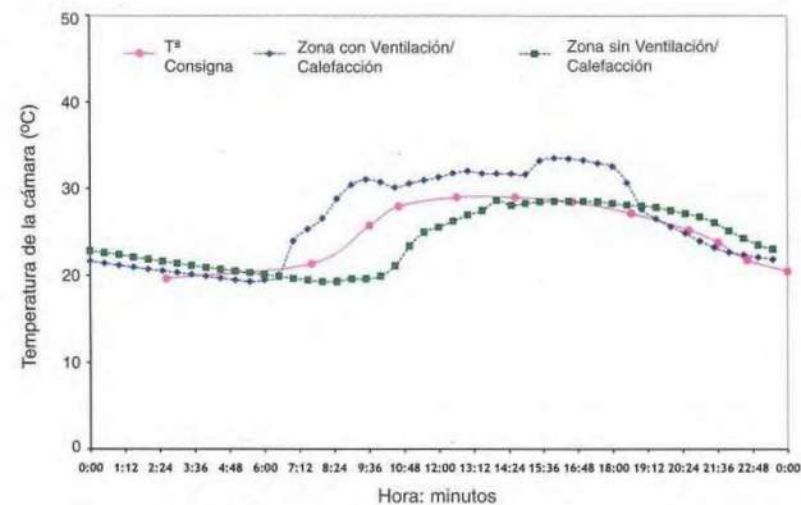


Figura 1a. Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) de la cámara de cultivo en el ensayo CI (verano).

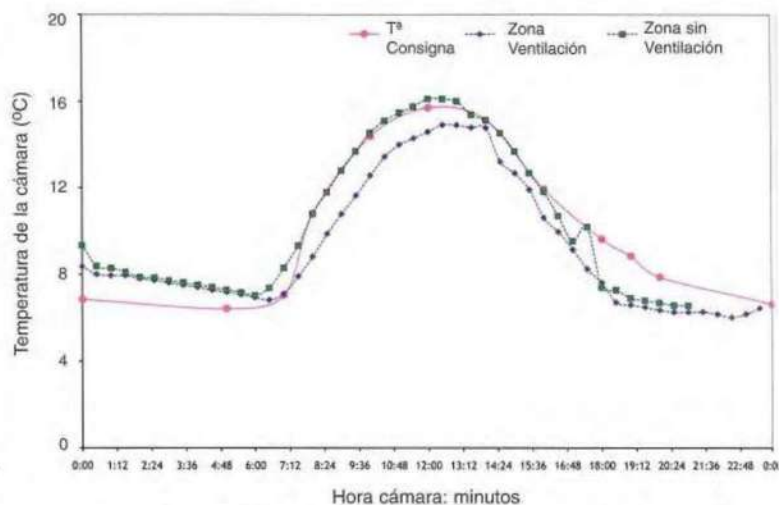


Figura 2a. Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) de la cámara de cultivo en el ensayo CII (invierno).

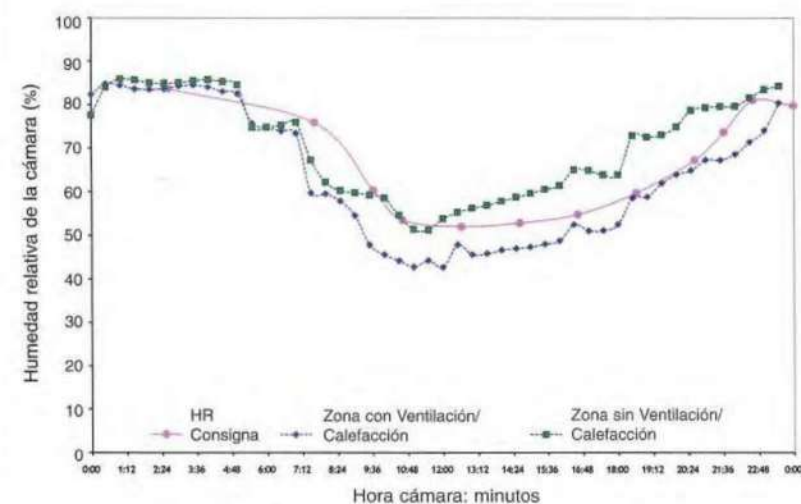


Figura 1b. Humedad relativa (%) de la cámara de cultivo en el ensayo CI (verano).

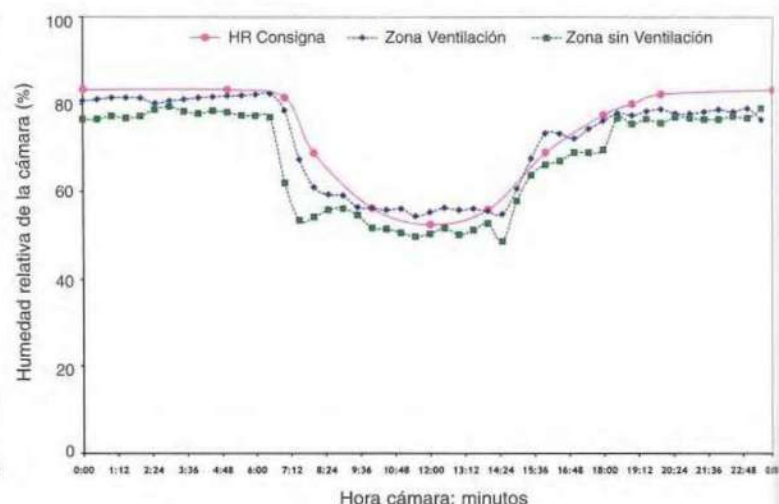


Figura 2b. Humedad relativa (%) de la cámara de cultivo en el ensayo CII (invierno).

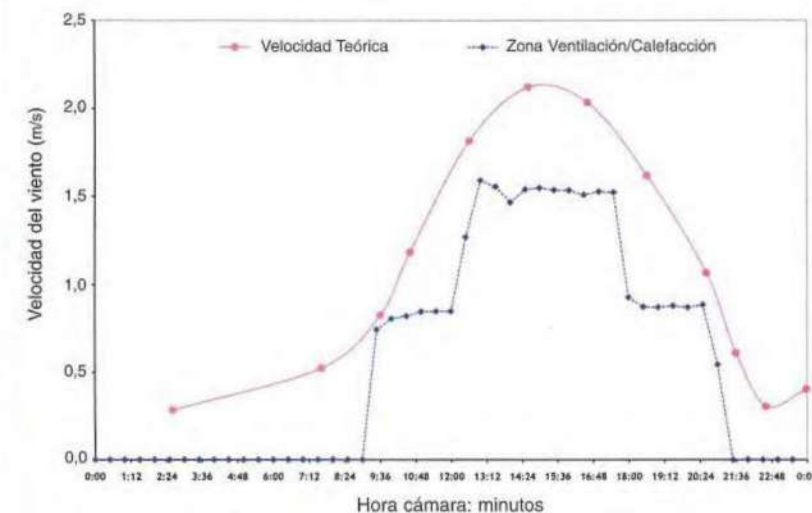


Figura 1c. Velocidad del viento de la cámara de cultivo en el ensayo CI (verano).

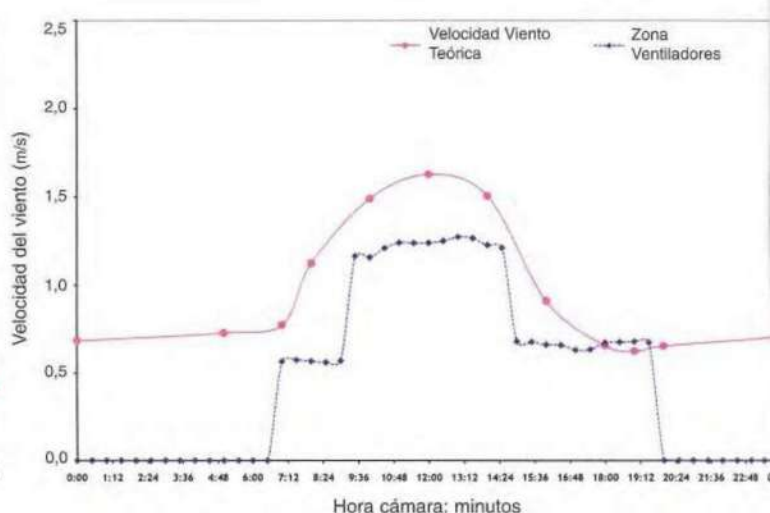


Figura 2c. Velocidad del viento de la cámara de cultivo en el ensayo CII (invierno).



Fotografía 1.

Izquierda: tres plantas con ventilación forzada, sonda de T° y HR y anemómetro. Derecha: cortina de separación de las plantas de los dos tratamientos efectuados, detalle del calefactor y ventiladores.

Con independencia de las condiciones climáticas aplicadas (verano o invierno) y la ausencia o presencia de ventilación forzada, la distribución relativa de la biomasa entre los distintos órganos en relación con el total de la planta refleja que el sistema radical supuso un 31.8% del peso seco total (como promedio de los 4 tratamientos) y las raíces fibrosas (absorbentes) un 12.4%. En cuanto a la parte aérea, el tallo (tronco) supuso, en promedio, el 45.5% de la biomasa total de las plantas, las hojas viejas aportaron un 18.3% del total y la nueva brotación (hojas y ramas muy jóvenes) un 2.9% de la biomasa total de las plantas de los tratamientos de verano. Estos porcentajes son muy similares a los obtenidos en los ensayos descritos en números anteriores. Las plantas cultivadas en las condiciones de invierno no brotaron en ninguna de las dos condiciones, tanto con ventilación forzada como sin ella.

3.2 Concentración de Calcio total

En la Tabla 6 se presentan los valores medios de la concentración de Ca de los órganos analizados, expresado en porcentaje sobre el peso seco, así como el valor de la concentración media ponderada de la parte aérea, sistema radical y total de la planta. Ninguno de los dos factores analizados afectó de forma significativa a la concentración de Ca ni de los órganos individuales ni del conjunto que integran la parte aérea, sistema radical o la planta completa.

En términos generales, los valores más elevados de concentración de Ca se presentaron en las hojas viejas, seguido en orden decreciente por raíces fibrosas, tallo y raíces gruesas.

3.3 Contenido de Calcio en las plantas

El contenido en Ca total de cada órgano, así como del conjunto de la parte aérea, sistema radical y total planta se muestra en la Tabla 7. Independientemente de los tratamientos realizados, la distribución del contenido en Ca entre los distintos órganos de la planta muestra valores más elevados en las hojas viejas de todas las plantas extraídas, seguido por el tallo y las raíces fibrosas y gruesas. Tan sólo el 2.4% del contenido total de Ca en la planta completa se acumuló en la nueva brotación (hojas y ramas muy jóvenes), siendo el valor más bajo de todos los órganos, debido también a la escasa biomasa de ésta.

Ninguno de los dos factores analizados afectó al contenido de Ca, posiblemente

Tabla 5. Biomasa (g)^Z en las plantas de los ensayos CI (verano) y CII (invierno)

Estación	Verano ^Y		Invierno ^Y		AE ^W		
	Sin	Con ^V	Sin	Con	Est	Vent	Est x Vent
Nueva brotación ^X	0.40	0.28	s. b. ^U	s. b. ^U			
Hoja vieja	2.09±0.37	2.21±0.32	2.16±0.14	2.16±0.32	NS	NS	NS
Tallo	5.46±0.30	5.62±0.28	5.52±0.53	4.90±0.26	NS	NS	NS
Parte aérea	7.95±0.60	8.11±0.47	7.68±0.46	7.06±0.27	NS	NS	NS
Raíz gruesa	2.27±0.29	2.20±0.29	2.35±0.15	2.50±0.39	NS	NS	NS
Raíz fibrosa	1.64±0.10	1.48±0.21	1.30±0.15	1.46±0.13	NS	NS	NS
Sistema radical	3.91±0.39	3.68±0.12	3.65±0.27	3.96±0.27	NS	NS	NS
Total planta	11.86±0.84	11.79±0.55	11.33±0.69	11.02±0.53	NS	NS	NS

^Z: Cada valor es la media de 3 plantas ± desviación estándar.

^Y: Las plantas se fertilizaron con la solución nutritiva estándar macada con ¹⁵N y ⁴⁴Ca, enriquecida al 33.9% y al 19.0%, respectivamente. El N, Ca y Mg se aplicaron a las concentraciones de: 9.8, 4.0 y 2.0 mM, respectivamente, que para 250 ml de solución por planta supusieron unas dosis de 35.1 (11.87 mg ¹⁵N), 40.0 (7.6 mg ⁴⁴Ca) y 12.2 mg de N, Ca y Mg, respectivamente.

^X: Durante el mes de tratamiento solo brotó 1 árbol en las condiciones de verano y no hubo brotación en las de invierno.

^W: Análisis estadístico (AE). ANOVA: Diferencias significativas para Pd0,05 (*); Pd0,01 (**); Pd0,001 (***) y no significativas P>0,05 (NS). Letras distintas en una misma fila indican diferencias significativas (P<0,05) según el test LSD-Fisher.

^V: Con ventilador más calefacción.

^U: Sin brotación.

Tabla 6. Concentración de Ca (% peso seco)^Z en las plantas de los ensayos CI (verano) y CII (invierno).

Estación	Verano ^Y		Invierno ^Y		AE ^W		
	Sin	Con ^V	Sin	Con	Est	Vent	Est x Vent
Nueva brotación ^X	0.72	0.53	s. b. ^U	s. b. ^U			
Hoja vieja	2.10±0.16	2.17±0.32	2.30±0.11	2.22±0.19	NS	NS	NS
Tallo	0.42±0.07	0.50±0.05	0.42±0.03	0.43±0.06	NS	NS	NS
Parte aérea	0.87±0.04	0.95±0.08	0.95±0.03	0.98±0.11	NS	NS	NS
Raíz gruesa	0.29±0.06	0.34±0.02	0.31±0.03	0.26±0.03	NS	NS	NS
Raíz fibrosa	0.91±0.07	1.01±0.19	0.99±0.08	0.88±0.13	NS	NS	NS
Sistema radical	0.55±0.07	0.60±0.04	0.55±0.04	0.49±0.06	NS	NS	NS
Total planta	0.77±0.03	0.84±0.05	0.82±0.02	0.80±0.09	NS	NS	NS

^Z: Y, X, W, V, U: Tabla 5.

Tabla 7. Contenido de Ca (mg)^Z en las plantas de los ensayos CI (verano) y CII (invierno).

Estación	Verano ^Y		Invierno ^Y		AE ^W		
	Sin	Con ^V	Sin	Con	Est	Vent	Est x Vent
Nueva brotación ^X	2.9	1.5	s. b. ^U	s. b. ^U			
Hoja vieja	44.0±5.3	47.4±1.7	49.7±4.6	48.0±7.9	NS	NS	NS
Tallo	22.7±2.8	27.9±3.3	23.0±3.2	21.1±3.1	NS	NS	NS
Parte aérea	69.6±3.9b	76.8±4.7a	72.7±3.6	69.1±6.6	NS	NS	NS
Raíz gruesa	6.5±0.6	7.4±0.6	7.3±0.9	6.6±0.4	NS	NS	NS
Raíz fibrosa	14.9±0.6	14.8±1.8	12.9±2.4	12.8±1.6	NS	NS	NS
Sistema radical	21.4±0.8	22.2±1.9	20.2±2.9	19.4±2.0	NS	NS	NS
Total planta	91.0±3.5b	99.0±5.5a	92.9±5.5	88.5±8.6	NS	NS	NS

^Z: Y, X, W, V, U: Tabla 5.

debido a la corta duración del ensayo, aunque las plantas se cultivaron en diferentes condiciones climáticas, ventilación y calefacción que afectaron a la temperatura y humedad relativa de la cámara de cultivo y, por tanto, a la tasa de transpiración de las plantas.

3.4 Concentración de ⁴⁴Ca

En la Tabla 8 se muestra el enriquecimiento del isótopo ⁴⁴Ca en los distintos órganos, expresado como porcentaje sobre el contenido total de Ca. El enriquecimiento en ⁴⁴Ca se denomina, también, ⁴⁴Ca en

exceso, y se obtiene por diferencia entre el valor analítico obtenido por espectrometría de masas menos el valor estándar de la abundancia natural de este isótopo (2.086% ⁴⁴Ca).

Los % ⁴⁴Ca en exceso tanto de los órganos individuales como del conjunto de éstos alcanzaron valores significativamente superiores en las plantas desarrolladas en las condiciones climáticas de verano en relación a los obtenidos en las condiciones de invierno. Por otro lado, la ventilación forzada afectó también a la concentración de ⁴⁴Ca de las hojas viejas en las dos condi-

ciones climáticas. Así, con ventilación forzada se obtuvo una concentración de ^{44}Ca muy superior en estos órganos que sin ella en ambas estaciones, siendo significativamente mayor este efecto en las condiciones de verano, ya que la diferencia entre plantas sin y con ventilación fue del 63.5% en verano frente al 56.5% en las condiciones de invierno.

Los valores más elevados del enriquecimiento en ^{44}Ca se dieron en las raíces fibrosas, seguido en orden decreciente por el enriquecimiento en las raíces gruesas, el tallo, la nueva brotación y las hojas viejas. Cabe destacar que en las hojas viejas se alcanzó la concentración más baja de este isótopo debido a un mayor efecto de dilución isotópica del ^{44}Ca por su mayor contenido en Ca total.

3.5 Contenido en ^{44}Ca absorbido del fertilizante

En la Tabla 9 se presentan los valores del ^{44}Ca absorbido del fertilizante ($^{44}\text{Caadf}$) aplicado en la solución nutritiva como nitrato cálcico marcado con ^{44}Ca . En los órganos individuales y el conjunto de éstos tan sólo las condiciones climáticas (Factor Est) afectaron al contenido de $^{44}\text{Caadf}$. Así, los valores de $^{44}\text{Caadf}$ obtenidos en las plantas desarrolladas en condiciones de verano fueron significativamente superiores a los obtenidos en invierno. Al igual que en la concentración de ^{44}Ca , la ventilación afectó de forma significativa al contenido de ^{44}Ca de las hojas viejas, de modo que con ventilación se obtuvo un contenido de ^{44}Ca muy superior a las mismas hojas sin ventilación en ambas estaciones. Siendo igualmente significativamente mayor la diferencia entre hojas viejas de plantas sin y con ventilación forzada en condiciones de verano que en invierno, 72.7 y 41.7% (respectivamente).

En verano, la distribución de $^{44}\text{Caadf}$ en la planta muestra las raíces fibrosas presentaron los mayores valores de esta variable, seguidos por el tallo, las raíces gruesas, las hojas viejas y la nueva brotación. Sin embargo, se observó una pauta de distribución diferente en las plantas cultivadas en condiciones de invierno (raíces fibrosas > raíces gruesas > hojas viejas > tallo). En cuanto al $^{44}\text{Caadf}$ de la nueva brotación (hojas y ramas muy jóvenes), tan sólo un 1.1% del contenido total de $^{44}\text{Caadf}$ en la planta se acumuló en este órgano. El contenido medio de la parte aérea fue del 33.4% del total de la planta en las condiciones de verano y en las de invierno, la proporción promedio de la parte aérea tan sólo

Tabla 8. Concentración de ^{44}Ca exceso (%) $^{\text{Z}}$ en las plantas de los ensayos CI (verano) y CII (invierno).

Estación	Verano ^Y		Invierno ^Y		AE ^W		
	Sin	Con ^V	Sin	Con	Est	Vent	Est x Vent
Nueva brotación ^X	0.83	1.14	s. b. ^U	s. b. ^U			
Hoja vieja	0.074±0.01b	0.121±0.01a	0.023±0.003b	0.036±0.002a	***	***	*
Tallo	2.30±0.08	2.09±0.27	0.57±0.10	0.56±0.04	***	NS	NS
Parte aérea	0.83±0.11	0.86±0.14	0.20±0.04	0.20±0.04	***	NS	NS
Raíz gruesa	5.98±0.17	4.95±0.76	2.62±0.42	2.70±0.16	***	NS	NS
Raíz fibrosa	5.95±0.38	5.36±0.75	3.94±0.51	3.52±0.28	***	NS	NS
Sistema radical	5.96±0.23	5.22±0.75	3.46±0.32	3.24±0.19	***	NS	NS
Total planta	2.04±0.17	1.84±0.22	0.91±0.05	0.86±0.07	***	NS	NS

Z, Y, X, W, V, U; Tabla 5.

Tabla 9. Contenido de ^{44}Ca absorbido del fertilizante aplicado (mg) $^{\text{Z}}$ en las plantas de los ensayos CI (verano) y CII (invierno).

Estación	Verano ^Y		Invierno ^Y		AE ^W		
	Sin	Con ^V	Sin	Con	Est	Vent	Est x Vent
Nueva brotación ^X	0.024	0.017	s. b. ^U	s. b. ^U			
Hoja vieja	0.033±0.01b	0.057±0.01a	0.012±0.002b	0.017±0.003a	***	***	*
Tallo	0.52±0.07	0.57±0.13	0.13±0.02	0.12±0.02	***	NS	NS
Parte aérea	0.577±0.08	0.644±0.13	0.142±0.02	0.137±0.02	***	NS	NS
Raíz gruesa	0.39±0.02	0.37±0.05	0.19±0.01	0.18±0.02	***	NS	NS
Raíz fibrosa	0.88±0.04	0.79±0.13	0.51±0.04	0.45±0.04	***	NS	NS
Sistema radical	1.27±0.06	1.16±0.16	0.70±0.03	0.63±0.05	***	NS	NS
Total planta	1.847±0.09	1.804±0.29	0.842±0.04	0.767±0.07	***	NS	NS

Z, Y, X, W, V, U; Tabla 5.

Tabla 10. Calcio derivado del fertilizante aplicado (% Caddf) $^{\text{Z}}$ en las plantas de los ensayos CI (verano) y CII (invierno).

Estación	Verano ^Y		Invierno ^Y		AE ^W		
	Sin	Con ^V	Sin	Con	Est	Vent	Est x Vent
Nueva brotación ^X	4.4	6.0	s. b. ^U	s. b. ^U			
Hoja vieja	0.4±0.1b	0.6±0.1a	0.1±0.0b	0.2±0.0a	***	***	*
Tallo	12.1±0.4	10.9±1.4	3.0±0.5	3.0±0.2	***	NS	NS
Parte aérea	4.4±0.6	4.5±0.7	1.0±0.2	1.0±0.2	***	NS	NS
Raíz gruesa	31.5±0.9	26.1±4.0	14.0±2.2	14.2±0.8	***	NS	NS
Raíz fibrosa	31.4±2.0	28.3±3.9	21.0±2.7	18.6±1.5	***	NS	NS
Sistema radical	31.4±1.2	27.6±3.9	18.4±1.7	17.1±1.0	***	NS	NS
Total planta	10.7±0.9	9.6±1.2	4.8±0.3	4.6±0.4	***	NS	NS

Z, Y, X, W, V, U; Tabla 5.

supuso un 17.3% del total. Estos resultados reflejan que con temperaturas más bajas (condiciones invernales) el ^{44}Ca absorbido del fertilizante aplicado tiende a acumularse en el sistema radical.

3.6 Calcio derivado del fertilizante

El calcio derivado del fertilizante (Caddf) representa la contribución del Ca absorbido del fertilizante aplicado al contenido total en Ca de cada órgano o conjunto de éstos. Este parámetro refleja, también, en qué proporción las necesidades en Ca del órgano en cuestión son satisfechas por el Ca absorbido del fertilizante aplicado (Tabla 10).

En condiciones de verano, en promedio un 5.2% del contenido medio (sin y con ventilación forzada) en Ca de los nuevos

brotes (tejidos con poca biomasa) provino del Ca aplicado con el fertilizante y el resto, hasta el 100%, se remobilizó de las reservas de Ca de los órganos viejos. En esta estación, el promedio de Caddf fue del 4.5 y 29.5% en la parte aérea y sistema radical respectivamente. Sin embargo, en condiciones de invierno, se obtuvieron unos valores promedio del 1.0 y 4.7%, en esos mismos órganos. Estas proporciones son muy inferiores a las obtenidas en la estación de verano, debido claramente a la disminución de la absorción de Ca por las plantas en la estación fría.

De los datos obtenidos en las plantas desarrolladas en condiciones climáticas de verano se deduce que la mayor contribución al desarrollo de los nuevos brotes correspondería al Ca acumulado en los órganos viejos, ya que, en promedio el

94.8% (100.0 - 5.2) de su contenido en Ca provino de las reservas de la planta, por lo que el Ca almacenado en los órganos viejos contribuye de forma muy relevante al desarrollo de nuevos tejidos, sobre todo, en los estadios tempranos de desarrollo de las nuevas brotaciones.

3.7 Concentración de Nitrógeno total

En la Tabla 11 se presentan los valores de la concentración de N de los distintos órganos analizados, expresado en porcentaje sobre el peso seco. En ellos, tan sólo la estación afectó de forma significativa a la concentración de este nutriente en el tallo, la parte aérea y el total de la planta. Así, el % de N del tallo alcanzó un valor significativamente mayor en las plantas desarrolladas en condiciones climáticas de invierno en relación a la concentración obtenida en este órgano en las condiciones de verano. Además, las diferencias aparecidas en la parte aérea son consecuencia de la diferente concentración de N del tallo junto a que las hojas viejas también concentraron más N en condiciones de invierno, aunque sin ser significativo. De igual modo, la concentración de N en el total de la planta fue significativamente mayor en las plantas de los ensayos de invierno por los motivos expuesto para la parte aérea y, también, por el mayor valor de N en las raíces gruesas.

En general, los valores más elevados de concentración de N se presentaron en las hojas viejas y raíces fibrosas. Sin embargo, los niveles más bajos se obtuvieron en los órganos leñosos, siendo los valores del tallo inferiores a los de las raíces gruesas. En la nueva brotación, se alcanzó la mayor concentración de N en las condiciones de verano.

3.8 Contenido de Nitrógeno en las plantas

La diferente estación tan sólo afectó al contenido de N de los tallos y de las raíces gruesas (Tabla 12) alcanzando los correspondientes a las condiciones climáticas de invierno valores significativos más elevados en relación a los de las plantas de verano, como consecuencia de la mayor concentración en N de estos órganos (Tabla 11).

En cuanto a la distribución del contenido total de N entre los distintos órganos de la planta, las hojas viejas, seguidos del tallo, las raíces fibrosas y gruesas, para todos los tratamientos realizados, fueron los órganos que acumularon un mayor porcentaje de N. Sin embargo, el contenido de N de la nueva brotación (hojas y ramas muy

Tabla 11. Concentración de N (%)^Z de las plantas de los ensayos CI (verano) y CII (invierno).

Estación	Verano ^Y		Invierno ^Y		AE ^W		
	Sin	Con ^V	Sin	Con	Est	Vent	Est x Vent
Nueva brotación ^X	2.35	2.45	s. b. ^U	s. b. ^U			
Hoja vieja	2.09±0.32	2.11±0.15	2.18±0.21	2.30±0.10	NS	NS	NS
Tallo	0.66±0.04	0.62±0.08	0.88±0.08	0.87±0.04	***	NS	NS
Parte aérea	1.12±0.06	1.09±0.07	1.25±0.08	1.31±0.04	**	NS	NS
Raíz gruesa	0.80±0.12	0.74±0.09	0.91±0.08	0.92±0.06	NS	NS	NS
Raíz fibrosa	1.98±0.05	2.22±0.17	2.19±0.24	2.15±0.10	NS	NS	NS
Sistema radical	1.30±0.10	1.33±0.12	1.36±0.09	1.37±0.13	NS	NS	NS
Total planta	1.18±0.02	1.17±0.02	1.28±0.07	1.33±0.05	***	NS	NS

Z, Y, X, W, V, U; Tabla 5.

Tabla 12. Contenido de N (mg)^Z en las plantas de los ensayos CI (verano) y CII (invierno).

Estación	Verano ^Y		Invierno ^Y		AE ^W		
	Sin	Con ^V	Sin	Con	Est	Vent	Est x Vent
Nueva brotación ^X	9.4	6.9	s. b. ^U	s. b. ^U			
Hoja vieja	43.7±3.8	46.7±3.6	47.0±1.7	49.7±6.9	NS	NS	NS
Tallo	35.9±4.2	35.0±2.4	48.6±8.9	42.7±4.2	*	NS	NS
Parte aérea	89.0±7.9	88.6±3.8	95.6±10.5	92.4±3.1	NS	NS	NS
Raíz gruesa	18.2±0.9	16.2±3.1	21.4±3.2	22.9±2.1	**	NS	NS
Raíz fibrosa	32.4±1.4	32.9±5.0	28.4±3.2	31.4±3.5	NS	NS	NS
Sistema radical	50.6±1.1	49.1±4.7	49.8±4.9	54.3±1.8	NS	NS	NS
Total planta	139.6±9.1	137.7±3.5	145.4±14.3	146.7±1.8	NS	NS	NS

Z, Y, X, W, V, U; Tabla 5.

Tabla 13. Concentración de ¹⁵N en exceso (%)^Z en las plantas de los ensayos CI (verano) y CII (invierno).

Estación	Verano ^Y		Invierno ^Y		AE ^W		
	Sin	Con ^V	Sin	Con	Est	Vent	Est x Vent
Nueva brotación ^X	10.83	9.55	s. b. ^U	s. b. ^U			
Hoja vieja	4.10±0.28	3.68±0.69	1.32±0.25	1.70±0.24	***	NS	NS
Tallo	3.72±0.36	3.02±0.39	1.86±0.22	2.15±0.35	***	NS	*
Parte aérea	4.66±0.21	3.88±0.50	1.60±0.23	1.91±0.29	***	NS	*
Raíz gruesa	4.05±0.48	2.82±0.55	1.57±0.20	2.08±0.42	***	NS	*
Raíz fibrosa	6.34±0.37	5.71±0.46	3.15±0.16	3.71±0.54	***	NS	*
Sistema radical	5.51±0.19	4.76±0.62	2.47±0.23	3.02±0.51	***	NS	*
Total planta	4.97±0.07	4.19±0.54	1.90±0.24	2.32±0.36	***	NS	*

Z, Y, X, W, V, U; Tabla 5.

jóvenes) sólo supuso, en promedio, un 5.9% del contenido total de N en la planta, siendo el valor más bajo de todos los órganos, debido principalmente a la escasa biomasa de ésta.

3.9 Concentración de ¹⁵N en exceso

En la Tabla 13 se muestra la concentración de ¹⁵N en exceso de los 4 tratamientos. Esta variable, también denominada enriquecimiento en ¹⁵N, se calcula por diferencia entre el valor analítico obtenido por espectrometría de masas y el valor estándar de la abundancia natural de este isótopo en la atmósfera (0.366% ¹⁵N). Los % ¹⁵N en exceso de las plantas cultivadas en las condiciones climáticas de verano alcanzaron valores significativamente superiores en las de invierno. Sin embargo, la ventilación afectó de forma diferente según las diferentes estaciones (interacción significativa). Así, en condiciones de verano, la presencia

de ventilación forzada dio lugar a una menor concentración de ¹⁵N, se embargo se observó una pauta contraria en invierno.

3.10 Contenido en ¹⁵N absorbido del fertilizante aplicado

En la Tabla 14 se presentan los valores del ¹⁵N absorbido del fertilizante (¹⁵N_{adf}) aplicado en la solución nutritiva como nitrato cálcico marcado con ¹⁵N.

En cuanto a los factores analizados, los contenidos de ¹⁵N_{adf} de los órganos alcanzaron valores significativamente mayores en las plantas de verano en relación a los valores obtenidos en las desarrolladas en condiciones de invierno. Además, al igual que en los % ¹⁵N en exceso, la presencia de una ventilación forzada afectó de forma diferente al ¹⁵N absorbido del fertilizante por la parte aérea, la raíz gruesa, el sistema radical y el total de la planta en las dos con-

diciones climáticas ensayadas. Así, la calefacción en verano dio lugar a un menor contenido de ^{15}N en estos órganos, sin embargo en invierno fueron superiores con la ventilación forzada.

En la estación de verano (sin ventilador o con ventilador más calefactor), la distribución en los diferentes órganos de la planta del contenido del ^{15}N indica que las raíces fibrosas son las que mayores contenidos de ^{15}N presentaron, seguidos por las hojas viejas, el tallo, la nueva brotación y las raíces gruesas. La nueva brotación (hojas y ramas muy jóvenes) acumuló, en promedio, un 9.4% del contenido total de ^{15}N en la planta y la parte aérea más del 59% del ^{15}N absorbido de los fertilizantes. En condiciones de invierno, se obtuvo un secuencia muy parecida (raíces fibrosas > tallo > hojas viejas > raíces gruesas). En estas últimas condiciones, la parte aérea acumuló un menor valor, 52.5%.

3.11 Nitrógeno derivado del fertilizante

El nitrógeno derivado del fertilizante (N_{ddf}) representa la contribución del N absorbido del fertilizante aplicado al contenido total en N de cada órgano, conjunto de éstos o en el total de la planta. Este parámetro refleja, también, en qué proporción las necesidades en N del órgano en cuestión son satisfechas por el N absorbido del fertilizante aplicado.

En condiciones de verano, un 30.1% del contenido promedio (plantas sin y con ventilador más calefactor) de N en los nuevos brotes provino del N aplicado con el fertilizante y el resto, hasta el 100%, se remobilizó de las reservas de N de los órganos viejos. El valor medio de N_{ddf} de la parte aérea y del sistema radical fue del 12.7 y 15.2%, respectivamente, del N presente en estos órganos. En condiciones de invierno, el valor medio de N_{ddf} (sin y con ventilador) de la parte aérea y del sistema radical fue del 5.3 y 8.3%, respectivamente. Igual que lo observado en el calcio, estas proporciones son muy inferiores a las obtenidas en la estación de verano, debido a la menor absorción de N por las plantas en la estación fría.

3.12 Eficiencia de uso de los nutrientes aplicados

La eficiencia de uso de cada nutriente (EUN) indica la proporción de N absorbido en cada órgano, conjunto de éstos o en el total de la planta en relación con la cantidad aplicada de éste nutriente.

Tabla 14. Contenido ^{15}N absorbido del fertilizante aplicado (mg^2) en las plantas de los ensayos CI (verano) y CII (invierno).

Estación	Verano ^Y		Invierno ^Y		AE ^W		
	Sin	Con ^V	Sin	Con	Est	Vent	Est x Vent
Nueva brotación ^X	1.0	0.7	s. b. ^U	s. b. ^U			
Hoja vieja	1.8±0.2	1.7±0.2	0.6±0.1	0.8±0.2	***	NS	NS
Tallo	1.3±0.3	1.1±0.2	0.9±0.2	0.9±0.2	*	NS	NS
Parte aérea	4.1±0.4	3.5±0.4	1.5±0.3	1.7±0.2	***	NS	*
Raíz gruesa	0.7±0.1	0.5±0.0	0.3±0.1	0.5±0.1	***	NS	**
Raíz fibrosa	2.1±0.0	1.9±0.4	0.9±0.1	1.2±0.2	***	NS	NS
Sistema radical	2.8±0.1	2.4±0.4	1.2±0.2	1.7±0.3	***	NS	*
Total planta	6.9±0.4	5.9±0.6	2.7±0.5	3.4±0.5	***	NS	*

Z, Y, X, W, V, U; Tabla 5.

Como puede observarse en la Figura 3, las plantas desarrolladas en condiciones de verano sin ventilación que fuerce una mayor transpiración presentaron mayores valores de eficiencia de uso. La menor absorción de nutrientes observada en las condiciones de invierno dio lugar a una menor eficiencia de uso. La ausencia o presencia de ventilación tuvo mayor influencia en la EUCa que en la EUN, ya que se produjo obligó a una mayor transpiración de las hojas sometidas a ventilación forzada (debido a la mayor transpiración) tanto en condiciones de verano como de invierno en relación a la ausencia de ventilación. En cambio, no ocurrió lo mismo en la EUN.

Como principales conclusiones, y a falta de más ensayos que corroboren los datos pueden destacarse los siguientes puntos:

- Las plantas cultivadas en condiciones ambientales de invierno acumularon un 6.9% más de N_{ddf} en el sistema radical que en las de verano; mientras que la acumulación de Ca_{ddf} fue un 16.1% superior en estas condiciones. Esto sugiere que la absorción de ambos nutrientes por las plantas aplicados en la época invernal tiende a acumularse preferentemente en el sistema radical, siendo notablemente mayor la acumulación de Ca que la de N.
- La ausencia o presencia de ventilación forzada tuvo mayor influencia en la EUCa que en la EUN en las hojas viejas. De modo que éstas mostraron una mayor EUCa (debido a la mayor transpiración) en las plantas tratadas con ventilación (verano o invierno). Este

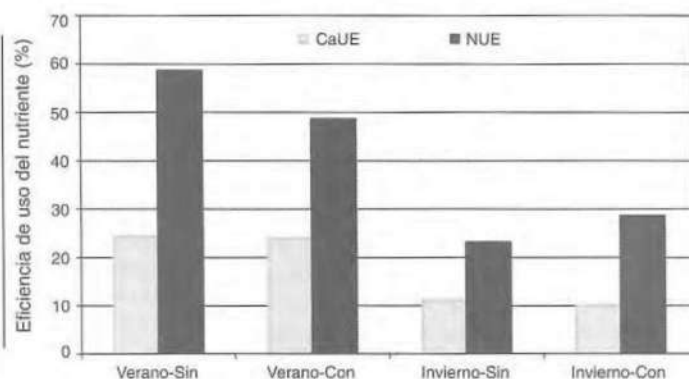


Figura 3. eficiencia de uso de los nutrientes aplicados (Ca y N).

efecto fue mayor en condiciones de verano con ventilación forzada y calefacción.

- En condiciones de invierno, la EUN fue un 47% menor que la obtenida en la estación de verano. En el caso del calcio, la eficiencia de uso fue un 43% menor.

- Un 30.1% del contenido promedio de N de la nueva brotación provino del N aplicado en la solución nutritiva (nitrato cálcico marcado con ^{15}N) y el resto, 69.9% de su contenido se translocó de las reservas de N de los órganos viejos (hojas viejas, tallo y raíces gruesas). Sin embargo, tan sólo el 5.2% del contenido promedio de Ca de los nuevos brotes provino del Ca aplicado en la solución nutritiva (nitrato cálcico marcado con ^{44}Ca) y el resto se remobilizó del Ca acumulado en las reservas de la planta. Por tanto, el Ca almacenado en los órganos viejos contribuye de forma muy superior al N en el desarrollo temprano de los nuevos tejidos.